HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	音響手法を用いたアマモ場の分布および生態系サービスの定量化に関する研究［全文の要約］
Author(s)	園木, 詩織
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第12491号
Issue Date	2016-12-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/64738
Type	doctoral thesis
File Information	Shiori_Sonoki_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 約

博士（環境科学）　　氏 名　園木 詩織

学 位 論 文 題 名

音響手法を用いたアマモ場の分布および生態系サービスの定量化に関する研究
（Study on distribution and ecosystem services quantification of seagrass beds using acoustic method）

アマモ属植物（Zosteraceae）によって構成されるアマモ場は、日本の沿岸域の砂地・砂泥地に広く分布している。アマモ属植物は、春季に高く・広範囲に繁茂、秋季に枯死や草体の脱落により衰退するといった分布の季節変動を行う。また、アマモ場は光合成や生物の棲息場といった様々な生態系サービスを有しており、アマモ場を含む沿岸域における生態系サービスは、地球上で約4兆ドルの価値があると言われている。アマモ場は高い機能を持つにも関わらず、沿岸域の開発などにより世界規模で減少している。その保全に繋げるためにも重要性を定量的に周知する必要がある。多様な時空間的広がりを持つアマモ場の機能を評価するためには分布面積やその変動を定量的に把握する必要がある。しかし、季節変動の激しさや、分布状況の複雑さ、広域の観測にかかる高い金銭的・人員的コストなどから分布全体の把握はこれまで困難であった。このため、アマモ場が有する機能や価値も単位面積などの小さなスケールで評価されることが多く、広域に分布するアマモ場全体で面的に観測・評価した例は殆どない。本論文では広域なアマモ場を迅速かつ定量的な分布を計測できる手法として、音響手法に着目した。海洋において用いられる音響手法は、主に魚類やプランクトンなどを定量的に観測する目的で用いられることが多いが、近年では様々な藻場の観測に応用されている。本論文では、広域に分布するアマモ場の生態系サービスを経済的価値で示すことを目的とし、音響手法を用いたアマモ場の分布計測（1章）およびその推定精度の検証（2章）、モデル海域を用いたアマモ場分布の定量化とそれに基づく生態系サービスの評価を行った（3・4章）。

● 音響手法を用いた分布推定 （1 章）

本研究では音響手法を用いてアマモ場を計測し、計測したアマモ場の在・不在情報と構造の高さを用いて分布面積の推定を行う。音響計測機器によって海中に発信された超音波は、海水以外の構造物（海底やアマモの葉内の空気間隙等）に音波が当たると反射する。構造物からの反射波を受信することで、鉛直的な海中の情報を定量的に取得することが出来る。音響手法は、迅速か

つ簡便に広範囲の定量的データを取得することが可能である一方、データからの種判別が困難である。このため、本研究ではカメラ観測と併用することでこの欠点を補った。アマモ場の情報を得るために、音響計測では小型軽量魚群探知機 KCE-300（ソニック社製、120kHz）を用いた。得られた音響情報から、アマモ場の有無と海中における高さの情報、位置情報を抽出した（Echoview 4.9, Myriax社）。抽出したアマモ場の有無と高さ情報を用いて、空間統計学的手法である指示クリギングと通常クリギングを用いて分布面積の推定を行った（ArcGIS 10.1, ESRI社）。アマモ場の在情報と指示クリギングからはアマモ場の有無のマップを作成し、アマモ場の高さ情報と通常クリギングからはアマモ場の高さのマップを作成した。2 種のマップを組み合わせることで、アマモ場の有無と高さに沿った分布推定マップを作成した。

- **音響手法および空間統計学的手法の精度検証 （2 章）**

音響手法・空間統計学的手法は、いずれも理論上はアマモ場の観測・推定が可能だが、その推定精度は明確ではない。生態系サービスの定量化に繋げるためにも、基礎となるアマモ場の情報の計測・推定精度を把握する必要がある。

高さの計測精度の検証には、アマモ場が分布するモデル海域（広島県生野島、北海道能取湖）のデータを用いた（夏季 n= 27, 秋季 n= 11）。音響計測値との比較に用いたアマモ場の目視計測値は、音響計測を行った地点と同じ地点において、水中カメラを用いて計測した。アマモ場の高さの音響計測値と目視計測値を比較したところ誤差は± 17 cmであった。季節ごとでは、夏季のほうが秋季よりも有意に誤差が大きくなった。これは、通常の葉より長く伸びる性質を持つ生殖枝の有無によるものであり、季節変動の一つであると考えられる。いずれもアマモ場の内部には様々な大きさの葉が混在しており、誤差はばらつきの範囲内であるとして解析を進めた。

分布の推定精度の検証のために、北海道能取湖のアマモ場のうち、連続的・非連続的な繁茂状況だった区域を選定した（1,000m×500m）。音響データは、125m×125mの格子状に船舶を航走させて取得した。解析の際、用いるライン間隔を変えて複数回解析を行い、データ取得のスケールによる推定結果の差が出るか検証を行った。推定結果と比較するため、箱メガネとカメラによる目視を音響情報取得と同時に行い、アマモの繁茂の有無を記録した。推定した分布面積と目視によるアマモ場の有無を比較したところ、データ取得のスケール別では、スケールが細かいほど目視結果との一致率が高くなっていた。アマモ場の繁茂状況別での分布推定結果と目視観測の一致率は、連続的なアマモ場の推定結果は 8～9 割、非連続的なアマモ場では 6～8 割であった。音響手法は、空間的に連続したデータを取得するため、広範囲・多様な分布をとるアマモ場の可視化に有用な手法であると考えられる。その推定精度は、アマモ場の分布状況や観測スケールに依存するため、目的や調査計画に沿って、精度を考慮した上でのライン設定を行う必要があるだろう。

- **生野島におけるアマモ場の分布推定と基盤サービスの評価　(3 章)**

自然状態の海岸線が残る広島県生野島沿岸には、水深 1～8 mの海域にアマモ（*Zostera marina*）が繁茂している。生野島沿岸のアマモ場は、光合成による高い炭素循環能力（繁茂期 1.2 g-C m^{-2} d^{-1}、衰退期 0.6 g-C m^{-2} d^{-1}）を有していることが知られている。アマモ場などを含む海洋における炭素吸収源はブルーカーボンと呼称され、近年着目されている。しかし、背景でも述べたように小さなスケールでの値は観測されているが、全体の機能として定量化がされていないため、具体的な数値は明らかではない。本研究では、アマモ場が分布する生野島の北部・東部を対象（0.44 km^2）に分布面積と単位面積当たりの炭素循環能力からアマモ場の基盤サービスを季節ごとに評価した。

音響計測調査は 2011～2013 年の繁茂期から衰退期にかけて合計 9 回実施した。音響航走を行った調査定線の間隔は 10～30mであり、第 2 章の精度検証結果から、8～9 割以上の一致率が期待されるライン間隔である。推定した分布面積に炭素循環能力を乗ずることで全域の値を評価した。炭素吸収量を経済的価値に換算するために、EUにおけるオークションでの二酸化炭素の取引価格（平均 5.70 € t-CO_2, 日本円で 667 円 t-CO_2）を用いた。

生野島沿岸域に分布するアマモ場は、各年ともに繁茂期となる 5 月で最も高く（1.0～1.5 m）かつ広域に分布（0.28 km^2）していた。繁茂期以後は徐々に低くなり、その分布も縮小していた。衰退期である 11 月に最も低く（0.6～0.7 m）、疎な分布（0.1～0.2 km^2）を取るなど、明瞭な季節変動や、アマモが繁茂しやすい・しにくい海域といった海域による変動も観測できた。炭素吸収量は調査海域において繁茂期に 360 kg-C d^{-1}、衰退期に 30 kg-C d^{-1} であった。陸域の炭素吸収源と比較すると、胸高周長 100cmのクスノキの約 1700～375 本分の炭素吸収量と等しかった。経済的価値に換算するとそれぞれ 870 円 d^{-1}、65 円 d^{-1} となり、分布に沿った明瞭な季節変動が見られた。

本章では、季節変動・海域による変動などの実際のアマモ場の分布に沿った炭素循環能力の時空間的・定量的な評価を行った。これにより炭素吸収源としてのアマモ場の有用性を議論するための重要な基礎的知見を得ることができたと考えられる。これらはアマモ場の二酸化炭素吸収源としての有用性を強く示すもので、沿岸域の炭素吸収源の場としてのアマモ場に関する保全・管理に繋がる議論を行うためにも重要な指標となるだろう。

- **能取湖におけるアマモ場の分布推定と供給サービスの評価　(4 章)**

能取湖のアマモ場はスゲアマモ（*Z.caespitosa*）とアマモで構成される混成藻場である。アマモ場には能取湖の主要漁業種であるホッカイエビ（*Pandalus latirostris*）が分布している。ホッカイエビは、成長に伴い未成熟→オス→メスへと性転換する。全ての成熟段階でアマモ場を利用している本種は、未成熟の小型の個体はより高密度なアマモ場を利用していることが知られてい

る。性成熟個体のうち、漁業的な価値を有する大型のメスのホッカイエビは、アマモ場の縁辺部において高密度に分布していると言われている。アマモ場の分布状況とホッカイエビの分布の関係性を定量的に明らかにすることで、アマモ場があることで生じるホッカイエビによる経済的価値の推定に繋がるものと考えられる。そこで、本研究では本海域でアマモ属植物が分布する可能性がある水深 10 mまでを対象（16.24 km²）に、アマモ場とホッカイエビの分布とその関係から能取湖のアマモ場の供給サービスを評価した。

第 3 章と同様に、アマモ場の音響調査を行いった。調査は 2012～2015 年のアマモ属植物の繁茂期（6・7 月）と衰退期（10 月）に行った。音響航走を行った調査定線の間隔は 500 mで、第 2 章の精度検証結果から、6～8 割の一致率が期待されるライン間隔である。アマモ場とホッカイエビの関係を把握するため、アマモ属植物が分布する音響定線上を、350m間隔で水深 10 mの地点までエビかごを投入して深度方向の分布限界を求めた。続いて、音響定線上でホッカイエビが漁獲可能だった地点を用いて、ホッカイエビの 1 カゴあたりのCPUEと、音響情報と水中カメラ映像を合わせたアマモ場の繁茂状況把握を行った。得られたホッカイエビとアマモ場の情報をもとに、応答変数をホッカイエビのCPUE、説明変数として音響データ 10m内のアマモ場の高さ・群落の大きさ・沖側の縁辺部からの距離などのアマモ場の分布状況を用いて、GAM（一般化加法モデル）によって両者の関係をモデル化した。選択された最良モデルと能取湖全域のアマモ場分布状況を用いて、アマモ場分布から予測されるホッカイエビの潜在的CPUEを予測した。予測した潜在的CPUEと、ホッカイエビ漁業の操業日数・漁獲されるカゴ数などの実際の漁業の情報を合わせて、期待される総漁獲量と経済的価値を評価した。

能取湖のアマモ場は繁茂期で平均 6.40 km²、衰退期で平均 5.16 km² であった。4 年間の調査データから得た能取湖のアマモ場の分布からは、年変動・季節変動・海域変動の 3 つの変動を観測できた。アマモ場の外側で得られたCPUEは、アマモ場から離れるほどCPUEが減少し、約 450m離れるとCPUEがゼロになっていた。このため、本研究では能取湖におけるホッカイエビの深度方向の分布限界はアマモ場から 450m離れた場所であると定義した。アマモ場繁茂傾向とホッカイエビCPUEを比較したところ、は、休息場かつ通路である疎なアマモ場やその縁辺部で多く漁獲されていることが明らかになった。GAMで選択されたモデルから、ホッカイエビは水深 3～5 m・疎なアマモ場・縁辺部から 200 mの範囲を好んで生息していることがわかった。ホッカイエビの潜在的なCPUEは平均 3.1 kg、漁獲高は 6,000 万円と試算された。

基礎的な情報であるアマモ場の分布状況も様々な要因により変動していた。アマモ場の時空間的変動を観測するためにも、継続的なモニタリングを行う必要があるだろう。アマモ場の分布状況という生息環境の基礎的な情報を通してアマモ場の経済的価値を試算したことで、能取湖がアマモ場を維持することで我々人間が享受することができる恩恵が、一般の人でもその価値がわかりやすい「金額」で明示できるようになった。それに加えて他の経済活動との経済的価値を尺度とした具体的な比較が行えるようになったことは、今後の沿岸域の開発や保全の検討・検証の際に重要な指標となるだろう。

● 総合考察 (5 章)

広域に分布するアマモ場に対し、定量的な計測が可能な音響手法を用いることで迅速かつ簡便に分布推定を行った。音響手法を用いることで、位置情報や有無の情報に加えて高さなどの情報も得られるため、アマモ場の立体的な構造を明らかにすることも可能である。アマモ場は季節変動が激しく、生態系の機能や生物量なども季節変動に従って変わってゆく。本研究で推定されたアマモ場の厚さおよび分布面積の季節変動に基づき、生態系の機能や生物量なども推定することが可能となるだろう。音響手法はデータ取得が容易で、同じ機器なら誰が調査しても同じデータが得られる。今後本研究のような音響手法が漁業者に活用されるようになれば、現場レベルでの自主的な情報の蓄積や漁業管理にも繋がるだろう。

従来では単位面積などで評価されていた生態系サービスについて、分布に基づいた評価が可能になった。広域の機能を可視化・定量化したことで、いつどこのアマモ場でどの程度の機能を有しているかを分かり易く提示出来るようになった。本研究で得られた生態系サービスは一部に過ぎないが、アマモ場が有する他の機能についても応用が可能である。一部の価値を評価しただけでは生態系サービスとしては過小評価となる。このため、現状明らかになっている生態系サービスや経済的価値については慎重に扱う必要がある。価値について全容を明らかにするためには、様々な機能・側面から情報の蓄積を行っていくことが重要である。今後、音響手法を用いてアマモ場を含む藻場の情報を得られれば、更に詳細な機能や価値の評価に繋がるだろう。

また、アマモ場の生態系サービスを一般にも分かり易い指標である金額で評価した。環境が有する価値を金額で評価することは経済活動との比較を行うための最も基礎的な情報となる。現在過小評価されていると言われるアマモ場の価値が明白になれば、その保全および管理の重要性に関する一般の関心も高まり、広くは沿岸生態系全体に対する保全にも繋がるだろう。開発や保全・保護方策を検討する上で、具体的な議論を開始するための基礎的知見となることが期待される。